

# ИЗМЕРЕНИЕ ГЕОМЕТРИИ СТРУКТУР ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ НЕОДНОРОДНОСТИ СВОЙСТВ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

*Скородумов С.В., Папина К.Б., Траченко В.А., Тепина Е.А.,  
Федоров М.И.*

*Руководитель – доц, к.т.н. Соколовская Э.А.*

*г. Москва, НИТУ «МИСиС»*

*Trachenko.v.a@gmail.com*

Качество конструкционных материалов определяется их структурой. Для сталей – это геометрия дендритного рисунка, распределение неметаллических включений по размерам (включая различные виды их локализации), неоднородность микроструктур, для жаропрочных сплавов – геометрия  $\gamma$ -фазы, состояние эвтектической и карбидной фаз, геометрия пор и др.

Неоднородность разномасштабных структур – отличительная особенность многих, даже достаточно хорошо отлаженных технологий производства стали, вследствие чего на практике наблюдаются колебания свойств в широких пределах. Очевидно, что именно особенности геометрии рисунка, часто номинально однотипных структур, и определяют наблюдаемые различия (аномалии) в поведении материалов при деформации и разрушении. Учет неоднородности их геометрии затруднен из-за отсутствия количественных процедур оценки: в настоящее время большинство действующих методик классификации структур носит качественный характер – сопоставление с эталонными шкалами или словесным описанием изображений. Вследствие этого оценка неоднородности геометрии структур сводится в итоге к одной или нескольким установленным стандартам величинам (баллам), что упрощает их описание. При этом в большинстве случаев, становится невозможным установить взаимосвязь строения структур и разрушения (по строению изломов), для выявления критических параметров структуры, лимитирующих запас вязкости, существенен также вклад субъективного фактора в получаемый результат.

Современные цифровые средства регистрации изображений структур, вычислительные мощности, программные продукты обеспечивают возможность быстрого и документирования измерения изображения структур. Понимание этого обстоятельства обусловило многочисленные попытки применения компьютеризированных средств и методов измерения разнообразных структур.

Процесс измерения геометрии структур, а также выявление зависимости значений свойств от параметров структур можно разбить на три основных этапа:

- получение и предварительная обработка изображений структур;
- измерение геометрии элементов структур;
- выявление значимых зависимостей свойств от количественных параметров структур, включая сопоставление строения структур и изломов.

Основными задачами первого этапа являются: получение изображений структур с наименьшим их искажением: программное устранение дефектов съемки, которые нет возможности предотвратить при съемке; «скрепление» изображений отдельных полей в панораму (в масштабе образца или изделия).

Целью второго этапа является распознавание элементов структуры по их характерным чертам (форме, размеру и др.). Различие элементов микроструктуры, в частности, трубной стали, в степени их яркости. Так, например, тело зерна более светлое по сравнению с границей. В связи с этим полезна оценка характера распределения значений интенсивностей яркости изображений структур (в 256 оттенках серого). С этой целью существенно построение гистограмм распределения значений (не менее 2000 измерений на вариант в данной работе). Это было использовано для разделения отдельных структурных составляющих в трубной стали, снижения ошибок, связанных с идентификацией структур, вносимых субъективным фактором.

Дополнительным количественным параметром описания структуры в мезо- и макромасштабах может быть степень неоднородности размещения её составляющих элементов, например, при наличии скоплений частиц – кластеров. Для этого, в частности, были оценены возможности построения полиэдров Вороного.

В рамках третьего этапа, как правило, устанавливается взаимосвязь между строением структур и изломов, выявляются параметры структуры, лимитирующие разрушение. Это позволяет выявить объективное влияние неоднородности структур на свойства конструкционной стали. В этой связи было показано, что применение процедур классической статистики и когнитивной графики может в ряде случаев наглядно установить причины нестабильности свойств конструкционных материалов (при раскопках данных производственного контроля) и сформулировать объективные рекомендации по минимизации уровня разброса качества материала.

При обработке изображений структур актуальны вопросы их метрологического обеспечения: обоснование минимального объема измерений, воспроизводимость получаемых результатов, оценки вида распределения, поскольку конечная задача измерительных процедур - получение числовых характеристик структур. С этой целью в работе систематизированы требования к измерению и обработке разнообразных (и одновременно характерных) структур и дефектов, наблюдаемых в сталях, титановых и жаропрочных сплавах. Это позволило предложить

комплекс стандартных процедур измерения ряда структур, обеспечивающих получения количественных оценок их геометрии.

В целом полученные результаты показали, что реализация компьютеризированных процедур измерения неоднородности структур и изломов весьма эффективна для получения количественных оценок структур и изломов, выявления критических параметров структуры, лимитирующих вязкость конструкционных материалов. Это позволяет осуществлять объективный прогноз свойств материалов, и выработку обоснованных принципов управления их качеством.